1906

Das Dioptometer.

Ein neuer Apparat zur subjektiven und objektiven Refraktionsbestimmung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin, Chirurgie und Geburtshülfe

der

hohen medizinischen Fakultät der Georg-Augusts-Universität

zu Göttingen

vorgelegt von

Wilhelm Hartert,

approb. Arzt aus Göttingen.

Göttingen 1906.

Dieterichsche Univ.-Buchdruckerei von W. Fr. Kaestner.

Der medizinischen Fakultät der Universität Göttingen vorgelegt am 30. Juli 1906.

Referent: Prof. Dr. F. Schieck.

Die Drucklegung ist seitens der Fakultät genehmigt.

Meiner Mutter

in Dankbarkeit gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154024_0469

Zur Ausführung von Refraktionsbestimmungen existieren eine ganze Anzahl von Methoden. Alle diese Methoden stimmen darin überein, dass Linsen oder Linsenkombinationen verschiedenster Brechkraft vor das zu untersuchende Auge gesetzt werden, bis bei Anwendung des geeigneten Glases der im betreffenden Fall erwartete optische Effekt eintritt. Bei den subektiven Methoden zum Beispiel ist dieser Effekt erreicht, wenn die in das untersuchte Auge fallenden Strahlen in der Fovea zu einem scharfen Bilde vereinigt werden. Man mag nun jede beliebige Methode wählen: man muss, wie gesagt, zur Ausübung einer jeden im Besitz einer Anzahl von Linsen oder eines Linsensystems sein, mit denen sich eine grössere Anzahl von Brechkraftswerten darstellen lässt. Bei den Linsensystemen bewirkt man die Veränderung der Brechkraft dadurch, dass man die Entfernung der hinter einander gesetzten Linsen ändert. Sie haben den Vorteil, dass sie während der Untersuchung vor dem Auge belassen werden können, während bei Verwendung einzelner Linsen mit den Gläsern gewechselt werden muss und daher die Untersuchung fortgesetzt intermittiert, was oft Ermüdung und Verwirrung bei mit subjektiver Methode

untersuchten Patienten zur Folge hat. Da aber die Linsensysteme nur für einige ganz spezielle Untersuchungsarten zu gebrauchen sind, so habe ich mir die Aufgabe gestellt, die ganz allgemein verwendbaren Linsen des Brillenkastens mit ihrem Nachteil des Auswechselns zu ersetzen durch eine einzige Linse, welche vor dem Auge belassen eine grosse Anzahl von Brechkraftswerten ähnlich der Linse des menschlichen Auges zu durchlaufen vermag, und die ausserdem ihre jeweilige Brechkraft jederzeit selbst anzeigt. In welcher Weise der Versuch einer Lösung dieser Aufgabe gemacht wurde, sollen die im folgenden mitgeteilten Experimente und Betrachtungen zeigen.

Ausgehend von dem physiologischen Vorbild der Akkomodationsfähigkeit des menschlichen Auges wurde zunächst die Frage gestellt, ob es möglich sei, die menschliche Linse in ihrer eigenartigen Funktion mit totem Material nachzuahmen. Ihrem mechanischen Bau nach besteht die menschliche Linse aus einer durchsichtigen homogenen Kapsel und einem Inhalt von festweicher Konsistenz mit elastischen Eigenschaften. Vermöge der letzteren hat die Linse stets das Bestreben, sich der Kugelform zu nähern. Um die Linse herum liegen als fester Ring, ein wenig vom Linsenrande entfernt, die Ciliarfortsätze. Dieser Ring und der Linsenrand sind durch zahlreiche straff gespannte Fasern, die Zonulafasern, mit einander verbunden, so dass die Linse dauernd in abgeflachter Form gehalten wird. Verengert nun die Kontraktion des Muskulus ciliaris den Ring der Ciliarfortsätze, so erschlaffen die Zonulafasern, und die Linse kann ihrem Bestreben, sich stärker zu wölben, folgen. Der bezüglich der Brechkraftsänderung erreichte Effekt beträgt bei stärkster Kontraktion des Muskels, eine jugendliche Linse vorausgesetzt, etwa 10 Dioptrien. Die tech-

nische Nachahmung des Akkomodationsmechanismus ist nicht möglich, da es einen durchsichtigen, halbflüssigen Körper mit den erforderlichen elastischen Eigenschaften, wie die Linsensubstanz sie besitzt, ausserhalb des tierischen Körpers nicht zu geben scheint.

Die Lösung der Aufgabe muss daher auf anderem Wege versucht werden. Eine allgemeine Betrachtung über das Linsengesetz wird die gegebenen Möglichkeiten klar legen, indem sie zeigt, welche Eigenschaften einer Linse verändert werden müssen, um ihre Brechkraft zu verändern. Nach der Formel

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right),$$

in welcher f die Brennweite, n der Brechungsindex des Linsenmaterials und r_1 und r_2 die Krümmungsradien der beiden Linsenflächen sind, wird die Brennweite kleiner, d. h. die Brechkraft grösser, mit wachsendem Brechungsindex und kleiner werdenden Krümmungsradien und umgekehrt.

Eine experimentelle Ausnutzung der Tatsache, dass die Brennweite einer Linse kleiner wird bei wachsendem Brechungsverhältnis und gleichbleibender Linsenform, lässt sich in folgender Weise bewerkstelligen. In eine durch zwei Kugelschalen aus Glas begrenzte Kammer wird ein schwach brechendes durchsichtiges flüssiges Medium z. B. Aether (n = 1,3566) eingebracht und darauf Aether-Schwefelkohlenstoff (n = 1,603)-Gemische von steigendem Schwefelkohlenstoffgehalt hindurchgeleitet. Es beträgt dann, vorausgesetzt, dass der Krümmungsradius der beiden mit ihrer Konkavität einander zugekehrten Kugelschalen 25 cm ist, die Brennweite dieser bikonvexen Linse im Beginn des Versuchs 35,05 cm = 2,85 Dioptrien und am Schluss,

wenn aller Aether durch Schwefelkohlenstoff verdrängt ist, 19 cm = 5,25 Dioptrien, während zwischendurch alle dazwischen liegenden Werte dargestellt sind. Auf diesem Prinzip begründet lässt sich also eine in geringerem Grade veränderliche Linse konstruieren. Indessen machen Schlierenbildung, und die Umständlichkeit, die Gemische herzustellen, dieses Verfahren für den praktischen Gebrauch völlig ungeeignet, abgesehen davon, dass sich kein Prinzip für eine selbsttätige Anzeigevorrichtung finden lässt.

Es bleibt daher nur die Möglichkeit bestehen, durch Formänderung der Linse die Brennweitenänderung zu bewirken. Wo sehen wir nun in der physikalischen Erscheinungswelt den Vorgang sich vollziehen, dass sphärische Flächen geringerer Krümmung in solche mit stärkerer Krümmung übergeführt werden? Das bekannteste Beispiel für diese Erscheinung ist die Seifenblase, deren Radius bei ihrer Entstehung sämtliche Werte von Null bis zu mehreren Centimetern durchläuft. Um zu erfahren, welches hier die für die Entstehung der sphärischen Fläche wesentlichen Momente sind, ist an die physikalische Erklärung der Erscheinung zu denken. Die Seifenblase stellt sich, wie alle stabilen mechanischen Systeme, auf ein Minimum der potentiellen Energie ein. Vermöge ihrer Spannung versucht sich die Oberfläche der Seifenblase soweit zu verkleinern, als es unter den gegebenen Bedingungen möglich ist. Mit dieser Verkleinerung der Oberfläche vermindert sich in gleichem Maasse die potentielle Energie. Wenn die Oberfläche und mit ihr die Energie ein Minimum geworden ist, so ist der Gleichgewichtszustand erreicht. Da nun die Kugel derjenige Körper ist, welcher bei gegebenem Volumen die kleinste Oberfläche hat, so nimmt die Seifenblase Kugelgestalt an. Ein völliges Analogon der Seifenblase ist ein mit Gas gefüllter Gummiballon; so lange die Elastizitäts-

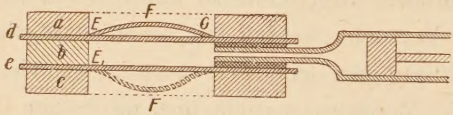
grenze des Gummis nicht überschritten wird, nimmt der Ballon nach jeder Deformation wieder Kugelform an. Aus diesen beiden Beispielen geht hervor: Ueberall wo flächenhaft ausgebreitete Körper, welche nach allen Richtungen hin sich in gleichmässiger Spannung befinden, von überall gleichem Druck belastet werden, entstehen Kugelflächen. Mit wechselndem Druck ändern dieselben ihren Krümmungsradius.

Nach diesem einfachen Prinzip wollen wir eine Linse mit veränderbarer Brechkraft zu konstruieren suchen. Im Verlauf der Versuche werden wir sehen, dass diese so einfachen Bedingungen technisch äusserst schwierig herzustellen sind. Zunächst wurden über die beiden Oeffnungen eines Blechringes zwei ausserordentlich dünne, in diesem Zustande mässig durchsichtige Gummimembranen gespannt und in die so entstandene Kammer Wasser eingebracht. Durch Vermehrung oder Verminderung des Flüssigkeitsdruckes, welcher mittels einer kleinen Injektionsspritze hergestellt wurde, erzeugte ich bald eine bikonvexe bald eine bikonkave Linse. Als ich die bikonvexe Linse jedoch als Lupe benutzen wollte, zeigten sich die betrachteten Gegenstände beträchtlich verzerrt, offenbar der Ausdruck eines bestehenden Astigmatismus. Tatsächlich fand ich als Ursache desselben eine Verschiedenheit in der Krümmung der Linsenflächen. In den höher gelegenen Teilen war die Krümmung eine geringere, als in den tiefer gelegenen.

Infolge des Eigengewichtes der Flüssigkeit ist nämlich nicht jener Forderung genügt, dass der Flüssigkeitsdruck auf alle Teile der Membran gleichmässig wirkt, sondern es wächst der Druck nach abwärts um das Gewicht der darüber gelegenen Flüssigkeitssäule. Bei Versuchen mit stärker gespannten Membranen zeigte sich jedoch, dass je höher der Druck sein muss, um eine Deformation herbeizuführen,

um so geringer diese Unregelmässigkeit der Krümmung wird. Bei Membranen aus festerem elastischen Material, z. B. Glas, konnte dieser Astigmatismus überhaupt nicht mehr beobachtet werden.

Statt dieser Erscheinung trat indessen bei schwer biegsamen Membranen eine andere störende Abweichung von der Kugelform auf. Art und Ursache derselben wird an der Hand der nebenstehenden Zeichnung verständlich werden.



Zwischen den drei Metallringen a, b und c sind die starken Celluloidmembranen d und e zum Zwecke der Abdichtung fest eingespannt. Ist der Druck innerhalb und ausserhalb der Kammer gleich, so stehen die Membranen planparallel. Wird nun innerhalb der Kammer ein Ueberdruck hervorgerufen, so müsste, falls die Membranen in Kugelform vorgewölbt würden, an den Punkten E und E_1 eine regelrechte Knickung, bei F [und F_1] nur eine leichte Wölbung entstehen. Da sich aber der Knickung einer schwer biegsamen Membran viel grössere Kräfte entgegenstellen als einer leichten Vorwölbung, so müssten bei E und E_1 viel grössere Kräfte wirken als bei F und F_1. Tatsächlich ist es aber das Wesen des Flüssigkeitsdruckes auf gleiche Flächenstücke mit gleichem Druck zu wirken. Es kann also, so lange bei F und F_1 nur eine Wölbung besteht, auch bei E und E_1 der Uebergang zur Kugelfläche nur in einer schwach gebogenen Kurve vor sich gehen. Erst dann, wenn die Spannung der Membran infolge hohen Flüssigkeitsdruckes so extrem wird, dass ihr gegenüber die Biegungsfestigkeit der Membran zurücktritt, erfolgte eine

Knickung. Dann ist aber auch die Elastizitätsgrenze des Celluloids überschritten und es kehrt nicht wieder in die Nullstellung zurück.

Die bisherigen Betrachtungen und Experimente lehren folgendes. Wenn eine kreisförmige in ihrem Umfange fest eingespannte elastische Membran unter der Belastung durch Flüssigkeitsdruck eine der Kugelgestalt möglichst angenäherte Form annehmen soll, so muss sie einerseits möglichst grosse Zugfestigkeit besitzen, damit die durch das Eigengewicht der Flüssigkeit hervorgerufene Ungleichmässigkeit in der Belastung keinen Astigmatismus hervorruft, andererseits muss sie der Biegung einen möglichst geringen Widerstand entgegensetzen zur Vermeidung der erwähnten Krümmungsunregelmässigkeit in den Randpartien. Da nun Astigmatismus weit störender wirkt als die unregelmässige Krümmung in den Randpartien, erscheint es zweckmässig, hinreichend biegungsfeste Membranen zu verwenden und die Randpartien abzublenden.

Wenn es schon schwierig ist, nach den bisher aufgestellten Forderungen in Beziehung auf die mechanischen Eigenschaften der Membranen geeignetes Material zu finden, so wird die Auswahl noch mehr erschwert, sobald wir auch die Bedingung der Durchsichtigkeit und optischen Homogenität für die verwendete Substanz aufstellen, denn die Anzahl der elastischen und zugleich durchsichtigen Stoffe ist nur eine sehr beschränkte. Andere Anforderungen an die optische Qualität der Membran, etwa bezüglich der Grösse des Brechungsverhältnisses brauchen wir nicht zu stellen. Denn die Aufgabe der Membranen besteht nur darin, der Flüssigkeit Linsenform zu verleihen und den Lichtstrahlen ungehinderten Durchgang zu gestatten, ohne ihre Richtung zu beeinflussen.

Tatsächlich beeinflussen planparallele Platten und

flache Kugelschalen aus durchsichtigem homogenen Material die Richtung hindurchgehender Lichtstrahlen nicht. Diese Erfahrung hat jeder gemacht, der einmal durch gutes Spiegelglas oder eine Schutzbrille mit uhrglasförmig gewölbten Gläsern hindurchgesehen hat.

Die am häufigsten in der Technik angewandte durchsichtige und feste Substanz ist das Glas. Gut gekühltes Glas stellt hinsichtlich chemischer und physikalischer Identität in allen seinen Teilen ein Material dar, wie es wohl kein besseres in festem Aggregatzustande gibt. Deshalb erschien es naheliegend, zunächst das Glas in den Bereich der Untersuchung zu ziehen. Da das Glas die denkbar besten optischen Eigenschaften besitzt, so konnte es sich bei diesen Experimenten nur darum handeln, festzustellen, ob die Elastizität des Glases hinreichend gross genug ist, ausgiebige Deformation zu gestatten, ohne zu zerbrechen. Denn darüber muss man sich klar werden, dass die an die Elastizität der Membranen gestellten Anforderungen ausserordentlich grosse sind, wenn man die in gewöhnlichem Zustande eben ausgespannte Membran so stark dehnen will, dass sie bei fester Einspannung am Umfange sich zu einer Kugelfläche wölbt. Es bedeutet das bei einer stärkeren Krümmung einen ganz beträchtlichen Flächenzuwachs, der nur durch die Elastizität der Membran ermöglicht wird.

Zu den Versuchen wurden verschieden dünne Glasmembranen benutzt, wie sie bei der Mikroskopie als Deckgläser Verwendung finden. Ich spannte zwei der Gläser in bekannter Weise zwischen drei Ringe und führte durch eine Oeffnung im mittleren Ring Cedernholzoel ein. Die Druckdifferenzen erzeugte ich wieder mittels einer kleinen Injektionsspritze oder durch das Gewicht verschieden hoher Quecksilbersäulen. Nachdem die störenden Randpartien abgeblendet waren, suchte ich erstens festzustellen, ob die

entstehende bikonkave oder bikonvexe Linse nun wirklich so regelmässig gekrümmt war, dass sie scharfe Bilder entwarf, und zweitens, in welchen Grenzen die Elastizität des Glases eine Formänderung der Linse gestattete.

Das Resultat der Untersuchung bezüglich der Schärfe der Bilder war ausgezeichnet. Ein Kurzsichtiger zum Beispiel von drei Dioptrien korrigierte seine Myopie mittels der Linse so vollkommen aus, dass er die oberste Reihe der Snellenschen Tafel aus der vorgeschriebenen Entfernung mühelos zu lesen vermochte. Ebenso liess sich der bei Emmetropen durch Vorsetzen von konvexen und konkaven Gläsern künstlich erzeugte anormale Refraktionszustand mittels der Linse ausgleichen, so dass wieder Emmetropie bei voller Sehschärfe eintrat.

Leider war es aber, was den zweiten Punkt der Elastizitätsgrenze anbetrifft, nicht möglich, weiter in der Anspannung der Membranen zu gehen, als bis zu einer Krümmung, bei welchem die Brechkraft der Linse $3^1/_2$ Dioptrien betrug. In der Folge zeigte sich ein noch schwerer wiegender Uebelstand. Die Membranen gingen oft weit vor der früher erreichten grössten Krümmung in Trümmer. Alle Bemühungen, die Ursachen dieser Unregelmässigkeiten festzustellen und auszuschliessen, waren vergeblich. Dieselben Erfahrungen machten Winkelmann und Schott bei Experimenten über Elastizität und Festigkeit verschiedener Glassorten. Sie fanden z. B., dass ein Glasstab, der bereits ein bestimmtes Gewicht getragen hatte, bei einer wiederholten Belastung mit einem kleineren Gewicht, aber von längerer Dauer zerbrach. Die genannten Autoren erklären diese Erscheinung so, dass bei der ersten Belastung bereits eine minimale Verletzung an der Oberfläche des Glases stattgefunden hat, die sich bei wiederholter Belastung langsam vergrössert und plötzlich den

Bruch herbeiführt. Diese Eigenschaft des Glases macht es für unsere Zwecke ungeeignet, sofern nicht etwa Glassorten gefunden werden, welche eine beträchtlich grössere Elastizität besitzen als die bisher untersuchten. Eine solche Möglichkeit erscheint nicht ausgeschlossen. Denn nach den Ergebnissen jener Arbeit von Winkelmann und Schott ist die Elastizität einer Glassorte abhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung und wächst mit dem Gehalt an bestimmten Mineralien z. B. Bor nicht unbeträchtlich. Die Entscheidung dieser Frage muss jedoch fachmännischen Untersuchungen überlassen bleiben.

Andere hier in Betracht kommende Substanzen sind Celluloid und Glimmer. Beide sind elastischer als Glas, besonders das Celluloid. Aber sie erreichen nicht die vorzügliche Homogenität und Durchsichtigkeit, welche das Glas vor allen anderen durchsichtigen Körpern in festem Aggregatzustande auszeichnet. Trotz dieser etwas geringeren Durchlässigkeit für Licht werden wir die genannten Substanzen zur Untersuchung heranziehen, weil wir sie ja nur in verhältnismässig dünnen Schichten verwenden.

Da im Handel völlig ebenes spiegelndes Celluloid von der erforderlichen Stärke nicht zu erhalten war, so sah ich mich gezwungen solches herzustellen, indem 0.5 cm starke Celluloidplatten bei 125 ° zwischen Spiegelscheiben gepresst und ihnen durch solche Behandlung ebene Oberfläche und Hochglanz verliehen wurden. Die so hergestellten Platten wurden in bekannter Weise eingespannt und der Zwischenraum mit Cedernholzöl ausgefüllt. Jetzt konnte man in der Tat infolge der grossen Elastizität des Celluloids viel stärkere Deformationen ohne Schaden herbeiführen als bei den Glasmembranen. Ein Zerbrechen oder Zerreissen des Celluloids wurde niemals verursacht. Bei allzugrosser Anspannung blieb als Folge eine dauernde Dehnung der

Membran zurück, so dass sie sich beim Nachlassen des Druckes in unregelmässige Falten legte.

Entsprechend der grösseren Elastizität der Membran wurden die Grenzen der Brechkraftsänderung weiter ausgedehnt und zwar auf den Bereich von + 6 bis — 6 Dioptrien.

Die in bekannter Weise angestellte Prüfung der optischen Eigenschaften ergab, dass das Gesichtsfeld überall scharf war mit Ausnahme einiger Stellen wo das Celluloid bei der Bearbeitung Defekte in der Oberfläche erlitten hatte.

Was es nun trotzdem wünschenswert erscheinen lässt noch einen anderen durchsichtigen Stoff in den Bereich der Untersuchung zu ziehen ist die vorläufig unentschiedene Frage, ob nicht das Celluloid als organischer Stoff mit der Zeit in seiner Elastizität Veränderungen erleidet, die seiner Verwendung hier entgegenstehen. Sicher bekannt ist vom Celluloid, dass es hygroskopische Eigenschaften hat, die z. B. verursachen, dass völlig eben hergestellte Platten einige Zeit aufbewahrt Verkrümmungen erleiden. Es scheint allerdings, als ob die Einspannung zwischen die Ringe diese Veränderungen zu verhindern vermag, jedoch sind sichere Beobachtungen über diesen Punkt von mir nicht gemacht worden. Der Glimmer nun hat sicher die Eigenschaft sehr hoher Beständigkeit, da er sich wohl meist schon Jahrtausende unverändert erhalten hat. Er ist zwar nicht so elastisch wie das Celluloid, besitzt aber eine sehr geringe elastische Nachwirkung, was ihn geeigneter für unsere Zwecke erscheinen lässt. Der gewöhnlich im Handel befindliche Glimmer ist selten völlig eben. Das ist aber unbedingt notwendig, wenn das Auftreten von unregelmässigem Astigmatismus vermieden werden soll. Es liegt daher die Schwierigkeit bei der Verwendung von Glimmer hauptsächlich in der Beschaffung absolut ebener Membranen.

Da meines Wissens eine Bearbeitung des Glimmers nicht möglich ist wegen seiner Zusammensetzung aus zahllosen dünnen Lamellen, so ist man darauf angewiesen unter den vorkommenden guten Stücken die besten auszuwählen.

Bei allen drei genannten Körpern besteht also eine nachteilige Eigenschaft. Welche Substanz sich schliesslich als die geeignetste herausstellen wird, kann nur eine längere praktische Erprobung entscheiden. Aber auch im Falle, dass diese Nachteile beseitigt werden, wird keine dieser Substanzen, selbst nicht das Celluloid mit den günstigen Elastizitätsverhältnissen, so stark gekrümmt werden können, dass eine Brechkraftsänderung über 40 Dioptrien, wie es zur Augenuntersuchung nötig wäre, erreicht wird.

Allerdings lassen sich die erreichbaren Grenzen ausser durch den Krümmungsgrad der Membranen noch durch das Brechungsverhältnis des flüssigen Linsenmediums beeinflussen. Wie schon eingangs erwähnt wurde, wächst die Brechkraft einer Linse bei gleich bleibender Linsenform mit wachsendem Brechungsverhältnis. Wie gross unter Umständen die durch Verwendung verschieden brechender Substanzen bedingten Unterschiede in der Brechkraft sind, wurde an dem Beispiel der zuerst mit Aether dann mit Schwefelkohlenstoff gefüllten Linsenform dargelegt. Aus diesem Beispiel geht für den vorliegenden Fall hervor: Je stärker das brechende Medium ist, um so wirksamer ist jede Vergrösserung oder Verkleinerung des Krümmungsgrades der Linsenflächen auf die Veränderung der Brechkraft. Daher ist hier die am stärksten brechende Flüssigkeit die geeignetste. Stark brechende Flüssigkeiten gibt es eine ganze Anzahl. Aber da wir ausser dem hohen Brechungsverhältnis noch gute Durchsichtigkeit, Farblosig-

keit und unbegrenzte Haltbarkeit verlangen müssen, so sind gerade einige der am stärksten brechenden Flüssigkeiten ausgeschlossen, da sie entweder von vornherein gefärbt sind oder sich nachträglich am Licht färben. Andere zersetzen sich mit der Zeit.

Nachdem alle aus diesen Gründen ungeeigneten Flüssigkeiten ausgeschlossen sind, bleiben das Cedernholzöl, der Schwefelkohlenstoff und das Monobromnaphtalin. Jede von den drei Flüssigkeiten hat ihre Vorzüge und ihre Nachteile.

Das Cedernholzöl besitzt unter ihnen das kleinste Brechungsverhältnis = 1,515, und ist schwach gelblich gefärbt, aber optisch homogen und sehr haltbar. Ausserdem ist die Abdichtung der Membranen gegen die Ringe, wenn wir das zähflüssige Cedernholzöl verwenden, leicht zu bewerkstelligen.

Der Schwefelkohlenstoff mit dem Brechungsverhältnis 1,603 ist ein in der Optik viel gebrauchter Körper, wo es sich darum handelt ein flüssiges Medium von hohem Brechungsverhältnis zu besitzen. Er ist gut haltbar. Aber seiner ausserordentlichen Dünnflüssigkeit wegen dringt er durch die feinsten kapillaren Spalten. Daher ist das Arbeiten mit ihm sehr erschwert.

Das Monobromnaphtalin wird ebenfalls zuweilen als stark brechender Körper zu optischen Zwecken verwendet. Es besitzt einen Brechungsexponenten von 1,661, ist sehr dünnflüssig und färbt sich beim Stehen am Licht schwach gelblich. Auf Celluloid wirkt es, ebenso wie der Schwefelkohlenstoff, ungünstig ein. Die Verwendung beider ist daher nur in der Kombination mit Glas oder Glimmer zulässig.

Da sich aber selbst bei Verwendung dieser hochbrechenden Flüssigkeiten nur eine Brechkraftsänderung von

+ 7 bis — 7 Dioptrien erreichen lässt, so können Refraktionsanomalien höheren Grades nicht mehr mit einer Flüssigkeitslinse allein ausgeglichen werden. Man müsste vielmehr vier derartige Linsen hintereinander setzen, um etwa den Bereich von + 14 bis — 28 Dioptrien Brechkraftsänderung zu umfassen. Eine derartige Kombination würde sehr schwerfällig ausfallen. Ich griff deshalb zu dem einfacheren Mittel Glaslinsen vor die veränderliche Linse zu setzen, die der bequemen Handhabung wegen an einer drehbaren Scheibe am Linsengestell befestigt sind und im Bedarfsfalle vorgeschlagen werden. Solcher Hülfslinsen sind, vorausgesetzt dass der Aenderungsbereich die genannte Ausdehnung besitzen soll, drei nötig und zwar + 7, — 7 und — 21 Dioptrien.

Bisher ist eine Eigenschaft lichtbrechender Flüssigkeiten noch unerwähnt geblieben, die bewirken kann, dass sich die Brechkraft der Linse ohne unser Zutun ändert. Es ist das die Beeinflussung des Brechungsverhältnisses von Flüssigkeiten durch die Temperatur. Es fragt sich, ob dieselbe grobe Differenzen in der Brechkraft hervorrufen kann bei den vorkommenden Schwankungen der Zimmertemperatur, oder ob sie so klein ist, dass wir sie vernachlässigen können. Als fragliche Temperaturbreite nehmen wir 15 ° bis 25 ° Celsius an.

Dann verhält sich z. B. die Aenderung der Brechkraft des Bromnaphtalins folgendermassen. Bei 15 ° Celsius ist der Brechungskoeffizient des Bromnaphtalins 1,65949, bei 25 ° 1,65499. (Es beträgt nämlich die Aenderung für einen Grad 0,00045.) Eine bikonvexe Linse aus Bromnaphtalin von 25 cm Krümmungsradius besitzt bei 15 ° eine Brennweite von 18,9537 cm oder 5,277 Dioptrien Brechkraft, bei 25 ° dagegen eine Brennweite von 19,0839 cm oder 5,240 Dioptrien Brechkraft. Der Brechkraftsunterschied

beträgt also nur **0.037** Dioptrien und lässt sich daher sehr wohl ohne Nachteil vernachlässigen. Bei Cedernholzöl und Schwefelkohlenstoff ist der Einfluss der Temperatur auf die lichtbrechenden Eigenschaften etwas grösser, fällt jedoch auch hier nicht ins Gewicht.

Eine andere zuweilen beobachtete Erscheinung, die ebenfalls durch diesen Einfluss der Temperatur auf die Grösse des Brechungsverhältnisses hervorgerufen wird, ist Schlierenbildung, wenn die der Linsenflüssigkeit von aussen zugeführte Flüssigkeit in ihrer Temperatur von der bereits in der Linse befindlichen abweicht. Jedoch dauert infolge des fast augenblicklich eintretenden Temperaturausgleichs die Erscheinung meist nur kurze Zeit an.

Nachdem nunmehr alles erörtert wurde, was für die Herstellung einer Linse mit veränderbarer Brechkraft von Wichtigkeit ist, kommen wir zu dem zweiten Punkte unserer Aufgabe, in welchem gefordert wird, dass die Linse ihre jeweilige Brechkraft selbsttätig anzeigt.

Ausgehend von der Ueberlegung, dass der Krümmungsgrad der Membranen, und damit die Brennweite, abhängig ist von der Menge der der Linsenkammer zu oder abgeführten Flüssigkeit, benutzte man das Volumen der im Druckerzeuger befindlichen Flüssigkeit als Massstab für die jeweilige Brechkraft der Linse. Benutzt man als Druckerzeuger die erwähnte Spritze, so hängt dieses Volumen ab von der Stellung des Kolbens im Cylinder. Man markierte daher bei jeder Stellung des Kolbens die zugehörige Brennweite, die man empirisch durch Messen festgestellt hatte, und erhielt auf diese Weise eine Skala sämtlicher Brennweiten, welche mit der Linse dargestellt werden konnten. Bei einer späteren prinzipiell nicht veränderten Anordnung, wo man die Bewegung des Kolbens nicht mehr mit der Hand, sondern in präziserer Weise

mit Zahn und Trieb besorgte, wurden die Umdrehungen des Triebes durch Räderwerk auf einen Zeiger übertragen, der über einer wie oben empirisch gefundenen Skala spielte. Man musste jedoch in der Folge die Verwendung von Cylinder und Kolben aufgeben, da dieselben nicht so gut schliessend hergestellt werden konnten, dass nicht Flüssigkeitsverluste, besonders bei dem Gebrauch von Schwefelkohlenstoff, eintraten. Dieser Uebelstand war deshalb so unangenehm, weil bei jeder Veränderung der Flüssigkeitsmenge, die nicht durch Verschiebung des Kolbens verursacht war, die ganze Skala ungiltig wurde.

Einen geeigneten Ersatz fand ich in Gestalt einer elastischen Metalldose, wie sie in Aneroidbarometern verwendet wird. Indem das Innere dieses Hohlkörpers mit der Linsenkammer in Verbindung gesetzt wurde, konnte man durch Zusammenpressen oder Auseinanderziehen der Dose Flüssigkeit herauspressen oder aussaugen und so Druckdifferenzen innerhalb der Linse hervorrufen. Die Deformation der Metalldose wurde mittels einer Schraubenvorrichtung besorgt. Die Drehungen der Schraube wurden durch Räderwerk auf einen Zeiger übertragen. (Genauere Beschreibung der Schraubenvorrichtung Seite 20.)

Aber obwohl bei dieser Anordnung keine Flüssigkeitsverluste mehr eintraten, veränderte sich die Brennweite der Linse zuweilen, ohne dass der Apparat benutzt worden war und der Zeiger seinen Stand veränderte. Setzte man dann den Apparat in Tätigkeit, so fand sich das eine Mal, dass der Zeiger alle Werte zu hoch, das andere Mal zu niedrig angab. Als Ursache dieser Erscheinungen wurden Temperaturschwankungen erkannt, welche Volumänderungen der Flüssigkeit und dadurch Aenderungen in dem Krümmungsgrad der Membranen hervorriefen. Diese Krümmungsänderungen konnte der Zeiger naturgemäss

nicht angeben, da er nur bewegt wird, wenn die Schraube in Umdrehung versetzt wird, nicht aber durch Temperaturschwankungen. So entstand der Widerspruch zwischen den vom Zeiger angegebenen nur bei einer bestimmten Temperatur, welche bei der Aufstellung der Skala herrschte, geltenden Werten und den bei einer anderen Temperatur tatsächlich vorhandenen.

Wenn diese Fehlerquelle ausgeschaltet werden soll, so muss entweder das Instrument stets bei derselben Temperatur, bei der die Skala konstruiert ist, benutzt werden, oder die Wirkung der Temperaturschwankungen muss in anderer Weise eliminiert werden. Da die erste Möglichkeit in anbetracht dessen, dass der Apparat praktischem Gebrauch dienen soll, ausgeschlossen ist, so kann es sich nur um die Verwirklichung der zweiten handeln.

Wir könnten zunächst an die Anbringung einer Kompensationskammer denken, deren Prinzip darin besteht, dass mit der auf konstantem Druck zu erhaltenden Flüssigkeit ein Gefäss in Verbindung gesetzt wird, dessen Inhalt sich bei Erwärmung durch Ausdehnung der Wandung in demselben Masse vergrössert, wie das Volumen der Flüssigkeit zunimmt. Da jedoch die Anbringung eines derartigen Gefässes die Konstruktion des Apparates sehr komplizieren würde, so wählen wir eine völlig andere Methode als bisher zur Messung der Brechkraft, die in leichter und einfacher Weise allen Schwierigkeiten begegnet, und zwar wollen wir den Krümmungsgrad der Membranen als Mass für die Brechkraft benutzen. Da die beiden zur Bildung der Linsenflächen verwendeten Membranen völlig gleich sind und stets gleiche Krümmungen erleiden, so genügt es wenn wir nur den Krümmungszustand der einen Membran messen. Ja, wir können sogar, um nicht durch den Mechanismus, mit dem die Krümmung gemessen wird, das

Gesichtsfeld zu verdecken, eine dritte gleich beschaffene Membran dem Druck der Flüssigkeit aussetzen und ihre Krümmung als Mass für die Brechkraft benutzen.

Der zur Messung der Krümmung verwendete Mechanismus hat folgende Gestalt: Der eine Arm eines Hebels liegt der Mitte der Membran auf. Die Bewegungen des anderen Armes werden durch weitere Hebel vergrössert und auf einen Zeiger übertragen, der wieder über einer empirisch hergestellten Sklala spielt. Nachdem dieser Mechanismus sich bei einer Reihe von Versuchen bewährt hatte, war ein gewisser Abschluss im Gang der Experimente erreicht. Jetzt konnte man dazu schreiten nach den gewonnenen Erfahrungen einen in allen Teilen seinem Zwecke angepassten Apparat bauen zu lassen. Auf der beigelegten Zeichnung ist dieser Apparat im Längschnitt dargestellt.

Auf einem Metallring *a* werden zwei Lamellen *b* und *c* von glashellem Celluloid mittels zweier in einander geschraubter Metallringe *d* und *e* festgehalten. Diese Anordnung stellt die veränderliche Linse dar. Da jedoch, wie erwähnt, die allein durch die Linse herstellbare Brennweitenänderung für den Zweck der Refraktionsbestimmung nicht ausreicht, ist die Linse noch mit Glaslinsen armiert, die je nach Bedarf vorgesetzt werden können. In diesem Falle sind die erforderlichen Hilfsgläser von + 10, — 10, + 20, und — 20 Dioptrien Brechkraft an der vorderen Seite des Linsenkörpers befindlichen drehbaren Scheibe *f* angebracht. Das innere des Linsenkörpers steht durch eine den Ring *a* durchbohrende Röhre *g* mit dem Innern des flachcylindrischen Gefässes *h* in Verbindung. Die Rückseite des Gefässes *h* besteht aus dünnem konzentrisch gewellten Stahlblech *i*, und es lässt sich durch Drehen der Schraube *k* infolge Verschiebung der mit der Mitte der

Stahlblechwand verbundenen Schraubenmutter der Inhalt des Gefässes *h* vergrössern, beziehungsweise verkleinern. In der starren Vorderwand des Gefässes befindet sich das Diaphragma *l*, dargestellt durch eine elastische Celluloidlamelle von etwa denselben Eigenschaften wie die oben erwähnten Lamellen *a* und *b*.

Auf der Mitte der Membran *l* ruht der an dem kurzen Arm des Hebels *m* befestigte Stift *n* auf. Der Drehungspunkt des Hebels befindet sich bei *o*. Der lange Arm des Hebels greift mittels eines Zwischengliedes an dem in seinem feststehenden Drehungspunkt *p* rechtwinklich abgebogenen Hebel *q* an, dessen langer Arm mittels der Kette *r* die Achse *s* des Zeigers *t* dreht. Eine an der Achse *s* angreifende Spiralfeder bewirkt, dass der Stift *n* stets leicht der Membran anliegt. Unter dem Zeiger befindet sich die nach Dioptrien empirisch eingeteilte Skala *u*. Zum Schutze der Anzeigevorrichtung dient das Gehäuse *v* mit Glasscheibe *w*. Der ganze Apparat ruht auf dem verstellbaren Fusse *x*.

Die Herstellung eines Apparates, der allen Anforderungen genügte, hat sich wegen Mangels an Zeit bis jetzt nicht bewerkstelligen lassen, da besonders die Beschaffung dauernd unveränderlicher Lamellen auf Schwierigkeiten stösst. Später werde ich an geeigneter Stelle über das Resultat der mit dem Apparat angestellten Refraktionsbestimmungen berichten.

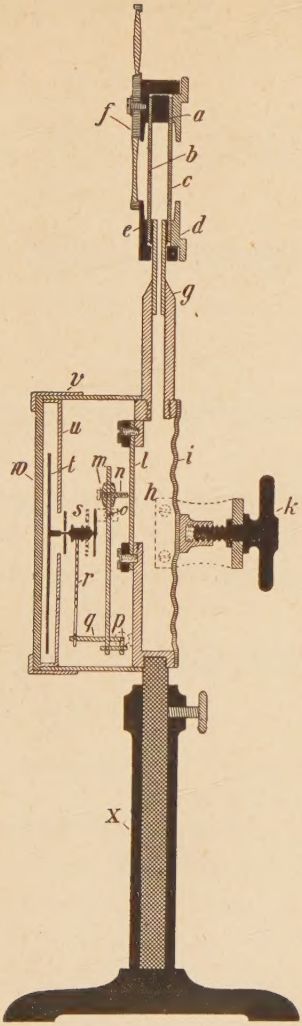
Zum Schlusse meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, den Herren Professoren Schieck und Schwarzschild für die mir freundlichst erteilten Ratschläge meinen Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Ich, Wilhelm Hartert, Sohn des 1881 verstorbenen praktischen Arztes Dr. med. Wilhelm Hartert zu Gross Schneen bei Göttingen, bin geboren am 7. Juli 1880 zu Gross Schneen. Ich besuchte von 1893—1899 die Latina der Franckeschen Stiftungen zu Halle a. S., von 1899 bis Ostern 1901 das Gymnasium zu Göttingen. Nachdem ich dort Ostern 1901 das Abiturientenexamen bestanden hatte, wurde ich auf der Georgia Augusta zu Göttingen immatrikuliert und in die medizinische Fakultät inskribiert.

Hier bestand ich im März 1903 die ärztliche Vorprüfung und studierte dann ein Semester in München, zwei in Berlin und dann wieder zwei Semester in Göttingen, woselbst ich im Wintersemester 1905/1906 das ärztliche Staatsexamen absolvierte.

Kurz darauf wurde mir die Approbation erteilt und seit dem 1. April 1906 bin ich Assistent am pharmakologischen Institut zu Göttingen.


f
a
b
c
e
d
g
v
u
w
t
m
n
l
i
h
k
s
o
r
q
p
X